

## Errores en la ciencia de nuestros días

Más especialmente en ciencia del suelo, ecología y agronomía

Juan PAPADAKIS

*Ex-Investigador del Instituto de Suelo y Agroecología. Miembro Correspondiente de la Academia de Ateas. Av. Córdoba 4564  
1414 Buenos Aires (Argentina)*

### RESUMEN

*La ciencia es antes que todo interpretación, pero interpretación basada sobre los hechos y confirmada por los hechos, y su principal método es una alternancia continua entre observación e interpretación. Por varias causas, que son tratadas en el texto, la ciencia pasa por épocas de oro, y otras de decadencia, y nos encontramos ahora en un período de decadencia científica, aunque el progreso tecnológico continúa. Esta decadencia encontró la ecología, agronomía y ciencia del suelo en su infancia, y no les permitió desarrollarse; muchas de sus teorías fundamentales, y metodología, necesitan una revisión profunda. El trabajo da algunos ejemplos.*

*La ciencia convencional ignora el mecanismo de competencia entre plantas, las toxinas radiculares; por lo tanto la ecología no pudo superar el estadio descriptivo; la agronomía no sabe porque se laboree el suelo, y los principios básicos de manejo de los cultivos; los fitotecnistas ignoran el antagonismo entre agresividad y productividad, y no pueden crear variedades productivas. El hecho que el empobrecimiento del suelo por el cultivo no se debe a la exportación de nutrientes por los cultivos, y los conceptos de fertilidad potencial y actual, bases de la rotación y fertilización, son ignorados. En formación del suelo no se atribuye suficiente importancia al hecho, que el efecto de cada factor depende de los otros factores, y a la historia geológica del material antes su deposición. Los pedólogos quieren aplicar a los suelos clasificaciones dentríticas, como las que se aplican en botánica y zoología, lo que es imposible; mientras que una terminología cifrada, como las que se aplican a las sustancias químicas y minerales sería apropiada; todavía más deficiente es la clasificación utilitaria; no se aprovecha la experiencia de los agricultores, y no se aplica el concepto de tipo de campo.*

*Los métodos estadísticos, análisis de sistemas, la simulación, las computadoras, las matemáticas son muy importantes, a menudo indispensables, en investigación; ordenando los datos y mostrando las correlaciones, facilitan la interpretación; pero no pueden reemplazarla. Se puede concluir, que una revisión de las teorías imperantes es necesaria.*

### RÉSUMÉ

*La science est avant tout une interprétation, mais une interprétation basée sur les faits et confirmée par les faits; sa méthode principale est une alternance continue entre observation et interprétation. Pour différentes raisons, qui sont discutées dans le texte, la science a ses époques d'or et de décadence, et nous nous trouvons actuellement dans une période de décadence scientifique, tandis que le progrès technologique continue. Cette décadence a trouvé l'écologie, l'agronomie et la science du sol dans leur enfance, et a empêché leur développement. C'est pourquoi leurs théories fondamentales et leurs méthodologies nécessitent une révision profonde. L'article en donne quelques exemples.*

*La science conventionnelle ignore le mécanisme fondamental de la compétition entre plantes, les toxines radicaires; c'est pourquoi l'écologie est encore une science descriptive; l'agronomie ne connaît pas la raison pour laquelle on travaille le sol, et les principes fondamentaux de la culture des plantes; les sélectionneurs ignorent l'anta-*

gonisme entre agressivité et productivité, et ne peuvent pas créer de variétés productives. Le fait que l'appauvrissement du sol par la culture n'est pas dû à l'exportation d'éléments nutritifs par les récoltes, et les concepts de fertilité potentielle et actuelle, bases de la rotation et fertilisation, sont ignorés. En formation des sols, on n'allribue pas assez d'importance au fait que l'action de chaque facteur dépend des autres, et à l'histoire du matériel originel avant sa mise en place. Les pédologues veulent appliquer aux sols une classification dendritique, comme celles qu'on applique aux végétaux et animaux, ce qui est impossible; tandis qu'une terminologie chiffrée, comme celles qu'on applique aux substances chimiques et minéraux serait indiquée; la classification utilitaire est encore plus défectueuse; on ne profite pas de l'expérience des agriculteurs, et l'on n'applique pas le concept du type de champs.

Les méthodes statistiques, l'analyse des systèmes, la simulation, les ordinateurs, les mathématiques sont très importants, souvent indispensables en recherche; ordonnant les données et mettant en évidence les corrélations, ils facilitent l'interprétation; mais ils ne peuvent pas la remplacer; pour étudier un système, on doit savoir le plus possible sur son fonctionnement. Nous pouvons conclure qu'une révision des théories généralement acceptées est nécessaire.

## SUMMARY

Science is chiefly interpretation, but an interpretation based on facts, and confirmed by facts; its chief method is a continuous alternance of observation and interpretation. For various reasons, that are discussed in the text, science has its golden periods, and other of decadence, and we are now in a period of decadence, although technologic advance continues. Such decadence encountered ecology, agronomy and soil science in their infancy, and impeded their development; many of their fundamental theories, and methodology, need a profound revision. This paper brings some examples.

Conventional science ignores the mechanism of plant competition, root toxins; therefore ecology cannot be but a descriptive science, agronomy does not know why we are tilling the soil and the basic principles of crop management; plant breeders ignore the antagonism between aggressivity and productivity, and they cannot create productive varieties. The fact that soil impoverishment by cropping is not due to exportation of nutrients by crops, and the concepts of potential and actual fertility, basis of rotation and fertilization are ignored. In soil formation no sufficient attention is paid to the fact that the effect of each factor depends on the others, and to the geological history of the material before its deposition. Pedologists try to apply to soils dendritic classifications, like those of plants and animals, an impossible task; while a ciphered terminology like those applied to chemical substances or minerals would solve the problem. Still more deficient is the practical classification; no advantage is taken of farmers experience, and the concept of land type is not applied.

Statistical methods, system analysis, simulation, computers, mathematics are very important, often indispensable, in research; by ordinating data and pointing out correlations, they facilitate interpretation, but they cannot replace it; to study a system we should know as much as possible on it. We can conclude that a revision of prevailing theories is necessary.

**MOTS CLÉS :** Histoire de la science. Époques de progrès ou de décadence. Pédologie, agronomie, écologie. Toxines radiculaires et compétition entre plantes. Fertilité potentielle et actuelle. Différentes classifications des sols. Utilisation des statistiques. Nécessité d'une révision des théories généralement acceptées.

## INTRODUCCIÓN

Vivimos en una época de gran progreso tecnológico. Pero este progreso es fruto del extraordinario progreso científico del siglo pasado. Del punto de vista científico nos encontramos en un periodo de decadencia y confusión (PAPADAKIS 1978b); la irracionalidad progresa. Esta decadencia encontró la ecología, agronomía y ciencia del suelo en su infancia, y no permitió su desarrollo; muchas de

sus teorías fundamentales, y la metodología aplicada no son satisfactorias, y deberían rectificarse.

Los periodos de decadencia se caracterizan por el hecho, que el público, aún los científicos, no se dan cuenta de la situación; si se dieran cuenta, la decadencia terminaría. El objetivo de este trabajo es atraer la atención sobre la cuestión, y más especialmente sobre algunos errores fundamentales en ciencia del suelo, ecología y agronomía.

## 1. ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE CIENCIA

Como muchos autores (CHATELIN 1979) han recalcado, la teoría y metodología científica depende mucho de nuestra concepción de la ciencia. Por lo tanto vamos a empezar por algunas consideraciones generales; la exposición será breve, pero el lector puede encontrar más detalles en otros trabajos (PAPADAKIS 1977b, 1978b, 1980b), y los textos en ellos mencionados.

La característica fundamental del hombre, la que lo distingue de los animales, es que *se pregunta el porqué y como* de los acontecimientos, que observa y sufre; desea aún saber el funcionamiento del universo, en el cual vive; y tiene la capacidad intelectual de interpretar los acontecimientos, y encontrar una respuesta, más o menos satisfactoria, a sus preguntas.

Este proceso *no es individual, sino colectivo*. Los hombres intercambian y discuten sus observaciones e interpretaciones, y de esta manera se edifica poco a poco el saber colectivo, que se transmite de una generación a otra.

Conociendo mejor la causa y mecanismo de los acontecimientos, el funcionamiento de la naturaleza, el hombre puede reaccionar mejor, adaptarse al ambiente. Mientras que todas las otras especies viven ahora de la misma manera que hace 5 o 10 mil años, el hombre vive ahora de una manera totalmente diferente; y se hizo el dueño de la tierra. Mientras que en las otras especies la adaptación al ambiente se hace por evolución genética, en el hombre hay además la *evolución cultural*, mucho más rápida que la genética.

La diferencia entre el hombre y todos los otros animales, aún el mono, es tan grande, que se podría dividir los seres vivientes en tres: las plantas (funciones vegetativas); los animales (funciones vegetativas, sensoriales, y motrices); el hombre (funciones vegetativas, sensoriales, motrices e intelectuales). La aparición de la inteligencia (capacidad de interpretación, teorización) sería uno de los tres pasos más importantes en la evolución de los seres vivos. Los animales perciben las similitudes y correlaciones entre acontecimientos, y aprenden de esta manera (mejoran su comportamiento), pero no hacen suposiciones sobre las causas y mecanismos de los acontecimientos.

El proceso de adquisición del saber humano se puede resumir de la manera siguiente; el hombre observa un acontecimiento y concibe una hipótesis sobre sus causas y mecanismo. Después de algún tiempo ocurre un acontecimiento similar; el hombre — el mismo u otro — trata de interpretarlo de la misma manera; la interpretación se confirma, se modifica, o se cambia por otra; de esta manera las

interpretaciones se perfeccionan continuamente, y se hacen más y más satisfactorias.

Conociendo la causa y mecanismo de los acontecimientos, el hombre inventa soluciones para sus problemas. Estas soluciones son probadas por el mismo u otros hombres; son confirmadas o cambiadas; y así progresa el saber tecnológico. Pero a veces la solución viene directamente de la observación, sin necesidad de interpretación, por simple correlación de los hechos, que los animales pueden también hacer; algunas invenciones primitivas u infantiles tienen este origen.

La ciencia es el saber humano, que hemos mencionado. Y su metodología es fundamentalmente la que hemos explicado. Pero ahora las observaciones, en vez de ser casuales, son organizadas (experimentación, servicios de investigación); y se usan a menudo instrumentos especiales (microscopios, etc.); Últimamente para facilitar la interpretación las observaciones son ordenadas (procesadas). Pero fundamentalmente el método científico es *una alternancia continua de observación e interpretación*.

Los animales también aprenden por observación y cambian su comportamiento. Pero no interpretan; por lo tanto no progresan; no hay evolución cultural. Por lo tanto se debe considerar la interpretación como la madre y esencia de la ciencia. Hace más de 100 años LIEBIG decía, que lo que importa no son los resultados experimentales, sino entender lo que estos significan.

Se puede añadir, que nuestra manera de observar los hechos varía según nuestra formación teórica. El científico de nuestros días no ve las cosas de la misma manera que el hombre primitivo o del medievo. Creo necesario subrayar todo esto, porque en nuestros días *se habla mucho de información, pero poco de interpretación*; se confunde aún el tratamiento matemático de las observaciones, para poner en evidencia las correlaciones existentes, y facilitar así la interpretación, con esta última.

La interpretación es especulación y necesita imaginación. Pero es especulación basada sobre los hechos y confirmada por los hechos. Se debe evitar tanto el empirismo excesivo, como la especulación no basada suficientemente sobre los hechos. Es curioso, que a menudo, los mismos científicos, que siguen un empirismo excesivo, profesan teorías, que no tienen nada que ver con la realidad.

Todos los fenómenos estudiados por la ciencia son complejos, lo que ahora se llama sistemas. Hace algunos siglos PASCAL dijo a este respecto «*como todas las cosas son al mismo tiempo efectos y causas, resultados inmediatos y mediatos, y todos se ligan entre si por ligazones naturales y difíciles de percibir, que conectan aún las más alejadas y más diferentes, considero imposible conocer las partes sin*

*conocer el conjunto, o conocer el conjunto sin conocer cada una de las partes*». Nuestros conocimientos deben avanzar en mismo tiempo sobre dos frentes, los fenómenos globales y los fenómenos elementales. PASTEUR descubrió la inmunidad, sin saber nada de su naturaleza bioquímica; MENDEL descubrió los genes, sin saber nada de los cromosomas; y estos descubrimientos globales han acelerado el progreso de la biología y bioquímica. Del otro lado el avance químico tuvo grandes influencias sobre la biología, agronomía, pedología, etc. Esto muestra los *peligros de la especialización*; no se puede conocer bien un punto, sin conocer los puntos circundantes, aún a grande distancia.

Se puede *clasificar las ciencias* a diferentes niveles según la complejidad de los sistemas que estudian (PAPADAKIS 1938, 1954): fisicoquímica; biología; psicología y otras ciencias del hombre. Se puede aún distinguir entre-pisos: fisiología y ecología en las ciencias biológicas, etc. Es naturalmente más fácil entender los sistemas menos complejos. Por lo tanto las ciencias fisico-químicas se desarrollaron más que las biológicas; y estas más que las ciencias del hombre; la fisiología avanzó más que la ecología. Parece que cualquier acción provoca procesos antagónicos, que paran sus efectos. Según CHATELIN (1979) la pedología es una ciencia dialéctica; pero parece, que todas las ciencias, que estudian sistemas dinámicos, son *dialécticas*. Por lo tanto las observaciones y experiencias deben prolongarse, repertise, y debemos ser cautelosos.

Según PASCAL el hombre de ciencia debe tener conocimientos, que exceden mucho los límites de su especialidad; y esto parece hoy difícil. Pero se debe hacer una distinción entre conocimiento profundo y conocimiento detallado. *El conocimiento puede ser profundo sin ser detallado; y muchas veces el conocimiento es detallado sin ser profundo.*

## 2. ALGUNAS PALABRAS SOBRE HISTORIA DE LA CIENCIA. PERIODOS DE AUGE Y DE DECADENCIA

El desarrollo del saber humano ha sido muy lento al comienzo. Solamente en el siglo XIX el hombre llegó a entender de manera más o menos satisfactoria la naturaleza. Pero el hombre sentía siempre la necesidad de saber la causa y mecanismo de los acontecimientos que observa. Y como esto era imposible para el hombre primitivo, los atribuía a *fuerzas sobrenaturales*.

Con el pasaje del tiempo el saber humano y la tecnología avanzaban; pero se continuaba a atribuir todo a fuerzas supernaturales. Además el individuo no se atrevía alejarse de las creencias de la masa. Todos pensaban aproximadamente de la misma

manera; todos los artesanos producían los mismos modelos; *la ciencia y el arte eran anónimas*.

Con los Griegos apareció el individualismo. Los filósofos empezaron a lanzar nuevas ideas; los artesanos comenzaron a variar y firmar sus trabajos. El avance ha sido enorme y rápido.

Pero la era griega ha sido muy corta. Con las guerras los esclavos se multiplicaron en Atenas; los hombres libres perdieron su trabajo; debían ser mantenidos por el estado, con impuestos pagados por los ricos. Bajo semejantes condiciones la libertad y la democracia son imposibles. Del otro lado muchos filósofos se hicieron *sofistas*; hacían parecer la mentira como verdad, según SOCRATES. Exceptuando ARISTOTELES, la filosofía griega era demasiado especulativa, se alejaba demasiado de los hechos. Todo esto condujo a la confusión. Decepcionada por la filosofía, la humanidad *se volcó de nuevo a las fuerzas sobrenaturales*. Y entramos poco a poco a las tinieblas del Medievo.

Con la reaparición de la economía de mercado, la libertad y los sistemas republicanos en las ciudades del Renacimiento, se vuelve a la ciencia griega, y el progreso científico empieza de nuevo. Y llegamos poco a poco al *siglo XIX, que se puede considerar como la época de oro de la ciencia*. La confianza a la ciencia, al sentido común, para hacernos entender el mundo, dentro del cual vivimos, y solucionar nuestros problemas, es enorme. La revolución francesa deifica la razón; esto naturalmente es exageración, pero es característica. Se pone la base de todas las ciencias; y empieza el progreso tecnológico. Los gobiernos son «iluminados»; protegen la ciencia y el arte; Federico el grande es amigo de Voltaire, uno de los padres intelectuales de la revolución francesa; la iglesia es uno de los mecenas de un arte pagano.

Pero la sociedad es un sistema dinámico; cada situación hace nacer procesos antagónicos, que tienden a cambiarla. La extensión del saber humano conduce a su división en compartimentos separados; *la ciencia se pulveriza en infinidad de ciencias*; se llega a la especialización exagerada. Los científicos se hacen profesionales, que practican la ciencia para ganar su vida. La investigación tecnológica se hace gran negocio para grandes compañías, y se trabaja a menudo en secreto. La ciencia se des-heroiza (PAPADAKIS 1980b). Con la *relatividad y el principio de incertidumbre de Heisenberg*, la confianza a la ciencia y al sentido común se pierde (PAPADAKIS 1980a). Decepcionado por la ciencia el hombre se vuelve de nuevo a las fuerzas sobrenaturales; *la irracionalidad se difunde*; se crearon aún cátedras de demonología en algunas universidades. El progreso tecnológico continúa, pero el científico se para. En el siglo pasado un número muy reducido

de investigadores, con instrumentos rudimentarios, pusieron las bases de casi todas las ciencias; ahora el número de investigadores se ha centuplicado, disponen de instrumentos perfeccionados, de presupuestos mil veces más grandes, pero casi no hay descubrimientos importantes. Como en todo periodo de decadencia científica, se observa una combinación de empirismo excesivo, que impide sacar conclusiones, con la aceptación de teorías, que no tienen nada que ver con la realidad.

Es interesante que *el arte, aún la política acompañan la ciencia en su decadencia*. La era de oro de la filosofía griega, el Renacimiento, el siglo XIX han sido periodos de gran florecimiento no solamente científico, sino también artístico, y aparecieron hombres ilustres en todas las actividades. Hoy no solamente la ciencia está en decadencia, el arte también; la mediocridad domina; en política los ciudadanos tienen que votar el menos malo. No se trata, naturalmente, de cambio genético; es la mentalidad, el espíritu de la época, que ha cambiado.

Es también interesante, que estos periodos de auge o decadencia se observan en mismo tiempo en todo el mundo en comunicación cultural. El Renacimiento empezó casi al mismo tiempo en toda Europa, aún Grecia (Creta, Mistras). En Argentina se venera la *generación de 1880*, por sus hombres ilustres. Pero la misma generación está venerada en Grecia; y se puede decir lo mismo para todo el mundo occidental, incluso Rusia. Entre 1980 y el fin de la segunda guerra mundial, empieza la decadencia en todo el mundo; Europa, más especialmente Francia, resiste un poco; pero finalmente sucumbe. En los párrafos siguientes vamos a dar algunos ejemplos concretos de esta decadencia.

### 3. LAS TOXINAS RADICULARES

Empezamos por una cuestión, que es fundamental para la ecología, agronomía, y ciencia del suelo: las toxinas de PICKERING. En suelo ocupado por las raíces vivientes de una planta ninguna otra planta, de la misma u otra especie puede vivir. *Y el rendimiento de una planta es linealmente proporcional al volumen de suelo ocupado por sus raíces*. Cuando se cultivan plantas en macetas, el rendimiento es proporcional al volumen de la maceta; doblando la profundidad de 40 cm a 80 cm, el rendimiento se duplica; y lo mismo se observa, cuando se cultiva en solución, que no se cambia durante el crecimiento (PAPADAKIS 1941). *El número de plantas por hectarea puede variar del simple al decuple, sin influencia sobre el rendimiento por hectarea*. Cada planta-individuo rinde en proporción del espacio que ocupa. Cuando en un cultivo se mezcla dos especies cada una rinde en proporción del espacio que ocupa.

Cuando en un cultivo una parte del suelo está ocupado por malezas, el rendimiento disminuye en proporción del espacio que estas ocupan. *Los laboreos, las carpidas, tienen como objetivo, casi exclusivo, eliminar las malezas*. Hemos mostrado experimentalmente (PAPADAKIS 1937a), que se puede conseguir los mismos rendimientos sin ningún laboreo, eliminando cuidadosamente las malezas a mano. Y ahora, con el descubrimiento de los herbicidas, el cultivo sin laboreo empieza a entrar en la práctica.

Hace 70 años PICKERING (1903-1914) ha mostrado experimentalmente la causa de estos hechos. Las raíces vivientes excretan toxinas, que son dañinas para todas las raíces, aún la raíz, que las ha excretado. Estas toxinas son *efímeras*, desaparecen, probablemente por oxidación; *no son específicas*, todas las plantas excretan aproximadamente las mismas toxinas, y todas son dañadas por ellas. Las experiencias de PICKERING han sido confirmadas por el autor de este trabajo (PAPADAKIS 1941).

Como las toxinas son efímeras, y las excretan solamente raíces vivientes, se establece un equilibrio entre la cantidad de toxinas excretadas, y la cantidad oxidada, por unidad de tiempo; por lo tanto *el rendimiento depende del volumen de suelo*, y no aumenta con el número de plantas; aumentando el número de plantas aumenta la cantidad de toxinas, las plantas crecen menos, y el rendimiento es aproximadamente el mismo. Muchas experiencias han mostrado, que la fotosíntesis por unidad de superficie foliar, y unidad de luz, cae verticalmente, cuando el número de plantas por unidad de volumen del suelo aumenta (PAPADAKIS 1980c).

Estas toxinas explican el mecanismo de competencia entre plantas. No pudiendo moverse, la planta está obligada a pasar toda su vida en un espacio restringido; debe por lo tanto defender su territorio contra cualquier invasor; no puede golpear, morder, etc.; *su única defensa son las toxinas radiculares*; cuando el suelo está ocupado por las raíces de una planta, se envenena, y ninguna otra planta puede desarrollarse; para esto se debería eliminar las raíces vivientes, que ocupan el suelo.

*Parece, que los coloides ayudan a la oxidación de las toxinas*. Con experiencias factoriales (tierra fina, nitrógeno, fósforo, agua) el autor (PAPADAKIS 1949) ha mostrado, que la productividad del suelo aumenta con la proporción de tierra fina, y que este aumento no puede atribuirse a elementos nutritivos, o mejores condiciones de balance de agua; se explica así porque las tierras arenosas son menos productivas; pero una proporción demasiado grande de arcilla reduce la permeabilidad al aire del suelo, y por consiguiente la oxidación rápida de las toxinas. Los suelos volcánicos combinan alta actividad

química (capacidad de intercambio) con gran permeabilidad, y son muy productivos (PAPADAKIS 1964, 1969). En el caso del arroz parece que la planta misma provee el oxígeno necesario.

Setenta años han pasado, desde la publicación de PICKERING; 40 desde la aparición de mi trabajo. Pero la ecología, agronomía y ciencia del suelo ignoran todavía las toxinas radicales. Últimamente BELL y KOEPPE (1972) han mostrado, que el efecto dañino de una maleza (giant foxtail) al maíz, se debe a la excreción de toxinas por las raíces. Pero ignorando los trabajos de PICKERING y los míos — no los mencionan en la bibliografía — no se rinden cuenta de la generalidad e importancia de esta excreción. Ignorando las toxinas de PICKERING los ecólogos tratan de explicar la competencia entre plantas por analogía con lo que ocurre en los animales; pero el mecanismo es totalmente diferente (PAPADAKIS 1977a). Por lo tanto *la ecología vegetal es todavía una ciencia solamente descriptiva*.

En agricultura el trabajo del suelo es tan importante, que le dió su nombre; etimológicamente agricultura significa trabajar el suelo; y la palabra griega georgia tiene el mismo significado. Pero ignorando las toxinas de PICKERING, la agronomía no puede explicar, porque es indispensable trabajar el suelo. Se daba muchas explicaciones (favorecer la penetración del agua, aire, etc.); pero ninguna es satisfactoria; el mejor suelo es el que no ha sido jamás trabajado; *la naturaleza no cultiva jamás el suelo*. Y ahora que gracias a los herbicidas, se debe reconocer, que el objetivo, casi exclusivo, del trabajo del suelo es controlar las malezas.

Todo el problema de la *praticultura* consiste en conseguir una composición florística favorable. ¿Como se podría comprender este problema, si se ignora el mecanismo de competencia entre plantas? Por lo tanto esta rama de la agronomía se encuentra todavía al estadio descriptivo, y no tiene casi ningún efecto sobre la práctica.

Las toxinas radicales son indispensables para la sobrevivencia de una planta bajo condiciones naturales (competencia). Pero en cultivo reducen el rendimiento. Cuando se las elimina (solución nutritiva continuamente renovada, lavado frecuente de las raíces, etc.), se consiguen rendimientos enormes con iluminación inferior a la normal. Por lo tanto hay *antagonismo entre productividad y agresividad* (PAPADAKIS 1940); la selección natural produce plantas agresivas, pero poco productivas; solo una selección adecuada por el hombre crea variedades productivas; pero son poco agresivas; no pueden sobrevivir sin ser cultivadas (protegidas contra las malezas). El hecho que la selección natural produce biotipos poco productivos, se muestra por la expe-

riencia siguiente (PAPADAKIS 1937c). Sembramos una mezcla de variedades de trigo, en proporciones iguales; y hemos determinado la proporción de las variedades en el grano cosechado; en la misma experiencia se determinaron los rendimientos de las variedades sembradas separadamente. Las variedades, que han sido favorecidas por la selección natural en la mezcla, y su proporción en el grano cosechado aumentó, han dado rendimientos inferiores, cultivadas separadamente.

Pero los fitotecnistas no toman en consideración el antagonismo entre agresividad y productividad. Los primeros años de selección después cruzamiento, o mutación inducida, la semilla de una planta madre se siembra a distancias habituales entre planta y planta; la competencia interviene, y los individuos que dan los mejores rendimientos, y se seleccionan, *no son los más productivos, sino los más agresivos*. Por lo tanto la fitotecnia ha creado variedades más resistentes a enfermedades y plagas, de mejor calidad, más precoces, etc.; pero raramente aparece una variedad productiva, que tiene gran éxito. Últimamente Borlaugh, y el Instituto Internacional del Arroz en Filipinas, han creado *trigos y arroces enanos* de gran productividad; las variedades enanas producen menos auxinas; las toxinas de PICKERING son probablemente auxinas eliminadas por las raíces (PAPADAKIS 1972, 1978a); tienen efectos análogos. De manera que seleccionando biotipos enanos, se seleccionaba biotipos productivos.

Hace casi 50 años (PAPADAKIS 1935a, 1935b, 1937d) introduje los ensayos en macetas, *una planta por maceta*; y en hoyos, *una planta por hoyo*, en el mejoramiento de las plantas. De esta manera se elimina la competencia entre plantas, y las que producen más deben este rendimiento a su productividad, no agresividad; además se puede hacer gran número de ensayos significativos con la semilla de una sola planta. Y gracias a este método obtuve los trigos G38290 y G46025, provenientes del cruzamiento Rieti x Quality, hecho en 1934. Estos trigos salieron del Instituto para multiplicación en grande en 1942; han tenido tal éxito, que han reemplazado todos los otros trigos sobre 70 % de la superficie sembrada con trigo en Grecia, durante casi 20 años.

Es característico, que en 1947, después de mi emigración de Grecia, los ensayos en macetas y hoyos han sido suprimidos; y ningún trigo de gran éxito salió más del Instituto, aunque se trabaja con gran eficiencia, y con los métodos más modernos. Pero es difícil crear variedades de gran productividad sin usar el método de ensayos en macetas u hoyos, una planta por maceta u hoyo.

Debo mencionar, que al comienzo el hombre primitivo no sembraba, ni plantaba; encontraba un olivo, un bananero, una planta de trigo adventicia,

eliminaba a mano cualquier otra planta en su alrededor, y protegida de la competencia, su planta rendía bien. En otras palabras *la domesticación (selección) de las plantas cultivadas se hizo bajo condiciones, que excluían la competencia*. Y de esta manera, de las centenas de millares de especies de plantas superiores, el hombre pudo encontrar cuatro, el trigo, el arroz, el maíz, el sorgo, que aún ahora proveen 80 % de los alimentos consumidos por la humanidad. Y estas especies se cultivaban ya hace 6,000 años.

El método de hoyos está también preconizado por FASOULAS (1980), quién introdujo el hoyo hexagonal (honeycomb), que permite comparar cada planta con 6 vecinas, en vez de 4, con el método cuadrado.

El estudio de las toxinas radicales, su influencia sobre la biología del suelo, el mecanismo de su oxidación, la influencia sobre ella de los coloides, son problemas importantes de la ciencia del suelo, etc. Sería fácil aislar estas toxinas de soluciones de cultivo. Esta investigación podría conducir a encontrar antitoxinas para aumentar los rendimientos. Del otro lado el mejor conocimiento de las toxinas de PICKERING arrojaría luz sobre muchos problemas del ecosistema suelo-planta.

#### 4. AGOTAMIENTO DEL SUELO POR LAS COSECHAS

Basandose sobre el principio de la conservación de la materia, muchos científicos han sacado la conclusión, que las cosechas agotan el suelo; se hacían aún bilanes de entradas por los fertilizantes, y salidas por las cosechas. Pero el suelo no es un almacén, del cual tenemos las llaves. Por encima del suelo hay la atmósfera, que se compone principalmente de nitrógeno; hay fijación de este elemento; y pérdidas por denitrificación en  $N_2$ . *Algunas parcelas de Rothamsted se cultivan desde más de 100 años, sin aplicación de fertilizantes, y no se empobrecieron en nitrógeno; otras reciben durante 100 años altas dosis de nitrógeno mineral; y no se enriquecieron*. Concerniente los otros elementos nutritivos, las reservas del suelo son suficientes para muchas centenas, o millares, de cosechas; entretanto el suelo se *renueva por los polvos que recibe a su superficie, o por erosión lenta*; cuando la superficie se erode, las raíces avanzan más profundamente, en suelo virgen; este rejuvenecimiento del suelo se ve bien en Misiones, Argentina; los suelos con pendiente son bien provistos con bases, tienen basalto en alteración a la parte inferior de la rizósfera; mientras que los suelos profundos son oxícos (ferrallíticos, oxisoles).

La teoría del agotamiento es también desmentida

por la *historia de la agricultura*. Las tierras de Atica (Atenas) eran famosas por su pobreza en los tiempos clásicos; hasta 1900 se las cultivaba, durante más de 2,000 años, sin ninguna fertilización orgánica o mineral; como el ganado vive al aire libre, no hay estiércol; y lo poco que se produce, se aplica a los cultivos hortícolas. Sin embargo estos suelos continuaban produciendo; y los rendimientos, antes de la introducción de los fertilizantes minerales, no parecen inferiores a los que se obtenían a la antigüedad. Lo mismo se observa en Italia, India, China, etc.

Cuando un suelo, que desde mucho tiempo no se cultiva, se pone en cultivo, los rendimientos, altos al principio, caen rápidamente los primeros años; pero esto se debe a la pérdida de materia orgánica, por quedar el suelo sin vegetación; la caída se para después algunos años; y el proceso es reversible (vease parrafo 6).

Sin embargo se continúa a sostener, que las cosechas agotan el suelo. Algunos autores llegan condenar las variedades productivas, porque produciendo más agotan más el suelo. Otros calculan los elementos nutritivos, que un país pierde, exportando productos agrícolas.

#### 5. FERTILIDAD POTENCIAL Y ACTUAL

El contenido en *materia orgánica* del suelo varía con su manejo; está a su máximo, cuando el suelo es utilizado desde muchos años como pastura; cuando este suelo se pone en cultivo, el contenido en materia orgánica baja; pero esta caída, rápida al comienzo, se amortigua progresivamente; y finalmente el suelo se equilibra a un nivel, que se mantiene indefinidamente, si el manejo no cambia. La caída de la materia orgánica favorece procesos, que activan su formación, y retardan su descomposición.

La rapidez de la caída, y el nivel al cual se establece el equilibrio, dependen de la rotación; es relativamente alto, cuando se cultiva trigo, cebada, centeno, avena, sorgo, cultivos, que enriquecen el suelo en materia orgánica con relación C/N amplia; más bajo, cuando se cultiva maíz, remolacha, algodón, leguminosas, etc.; y todavía más bajo, cuando el suelo se mantiene continuamente sin vegetación con barbecho desnudo continuo.

Del otro lado si un suelo, que se cultiva desde muchos años con cultivos anuales, se deja como pradera, su contenido en materia orgánica sube; pero la elevación, rápida al comienzo, se amortigua progresivamente; y finalmente un equilibrio se establece, que se mantiene indefinidamente, si el manejo no cambia.

Pero mientras el contenido en materia orgánica varía lentamente, cuando el manejo del suelo cambia, el contenido en *nitrógeno asimilable*, más especial-

mente nítrico, varía rápidamente, del simple al múltiple, en el lapso de algunos meses (RICHARDSON 1931, YANKOVITCH 1933). Depende del equilibrio entre la nitrificación y los procesos opuestos. Cuando se agrega al suelo materias con *relación C/N* estrecha (N mineral, urea, residuos de leguminosas, etc.), el contenido del suelo en N asimilable se eleva. Por el contrario cuando se agrega materias orgánicas con *relación C/N* amplia, los nitratos casi desaparecen, y el suelo está por un tiempo muy pobre en N asimilable (PAPADAKIS 1938, 1954). Los agricultores saben esto, y queman la paja, en vez de enterrarla. Por la misma razón alternan cultivos, que bajan el contenido del suelo en N asimilable (trigo, sorgo, etc.) con cultivos, que elevan este contenido (maíz, papa, remolacha, algodón, leguminosas, etc.); la introducción del maíz ha revolucionado la agricultura europea, porque reemplazó el barbecho cultivado, permitiendo tener cosecha todos los años; la misma cosa tuvo lugar más tarde con la papa y la remolacha.

Por todas estas razones se debe distinguir entre *fertilidad potencial* que depende del contenido del suelo en materia orgánica; y *fertilidad actual*, que depende del nitrógeno asimilable.

Es importante mantener el suelo a un alto nivel de fertilidad potencial, que permite conseguir rendimientos relativamente altos sin fertilización. Del otro lado la dosis de N que se debe aplicar, depende de la fertilidad actual al momento de la aplicación. Muchas experiencias han mostrado, que el trigo después barbecho desnudo responde poco al nitrógeno, mientras que la respuesta es grande después de otro trigo. *Adaptando las dosis de nitrógeno a la fertilidad actual al momento de la aplicación se puede hacer grandes economías.*

La materia orgánica no es solamente fuente de nitrógeno; su descomposición libera otros nutrientes también. Por lo tanto los conceptos de fertilidad potencial y actual son importantes también para ellos; *el fósforo muestra una variación estacional* (DORMAAR 1972). *Su inmovilización es mucho más rápida y definitiva, que lo que se piensa. Y la sensibilidad de la planta al fósforo varía enormemente según la fase de desarrollo* (PAPADAKIS 1971).

Pero sobre todo esto hay gran confusión en la ciencia convencional; no hay ideas claras. Y es una cuestión importante tanto del punto de vista teórico como práctico.

## 6. FORMACIÓN DEL SUELO

Los factores de formación del suelo (material originario, clima, topografía, vegetación, tiempo) actúan todos en mismo tiempo; se trata de un sistema dinámico complejo (CHATELIN 1979). Cada

factor actúa de diferentes maneras; así el lavado depende de la diferencia entre la lluvia y la evapotranspiración potencial, durante la estación húmeda; la evapotranspiración potencial de la temperatura máxima y humedad; y todo depende de las condiciones de drenaje; sin drenaje no hay lavado; la falta de drenaje equivale a clima seco; pero puede también causar inundación con todas sus consecuencias. El desecamiento intenso del suelo puede provocar la rubefacción; un suelo superficial puede desecarse, aún bajo clima húmedo, si hay periodos secos.

Los materiales que forman el suelo habían muchas veces sufrido un ciclo de pedogénesis anterior en su lugar de origen; su arcilla puede haber sido formada a esta época. No se tiene siempre cuenta de la *historia del material antes su deposición* al lugar donde lo encontramos. Se recurre demasiado frecuentemente a la explicación fácil, que el clima ha cambiado, mientras que un cambio de las condiciones topográficas (drenaje, etc.) explicaría mejor la discordancia entre el clima actual y el suelo. Además bajo el mismo clima y las mismas condiciones topográficas pueden formarse suelos muy diferentes según el material originario, la vegetación, tiempo, etc. Por ejemplo la opinión que algunos suelos rojos Mediterráneos se formaron bajo clima tropical es a mi juicio errónea; la alternancia de una estación húmeda, durante la cual se hidrolizan los silicatos, y se liberan óxidos de hierro, con una estación seca, durante la cual se desecan fuertemente estos óxidos es suficiente; y se ve actualmente esta *rubefacción* en suelos superficiales en formación. Se sorprende a menudo, cuando se encuentra suelos, cuya formación requiere un lavado intenso, bajo climas tropicales, donde la lluvia anual cubre solamente 50 %, o menos, de la evapotranspiración potencial anual. Pero se olvida, que *el agua se mueve en el suelo en una sola dirección*, bajándose; el movimiento ascendente se hace casi exclusivamente por las plantas (absorción-transpiración); por lo tanto la estación seca no deshace el lavado producido durante una estación húmeda; lo que importa es *el excedente de lluvia durante la estación húmeda*; y este excedente varía de año a año; aún bajo climas desérticos la superficie del suelo está lavada.

La historia geológica antigua explica a menudo la distribución geográfica de los suelos. Por ejemplo en *América del Sur* había dos escudos muy antiguos (Brasil y Guayana) al este; la Cordillera de los Andes, joven, volcánica, rejuvenecida continuamente por erosión al este; y entre ellos las fosas de la Amazonia, el Chaco, y la Pampa Argentina, las cuales han sido rellenadas con materiales provenientes de los Andes y los escudos. Los suelos de los Andes son en general bien provistos de bases,



a veces son ándicos. Los suelos provenientes de los escudos son óxicos (oxisoles, ferrallíticos) distróficos. Los de la Amazonia (clima húmedo, buen drenaje) óxicos distróficos. Los del Chaco y la Pampa (clima seco, drenaje difícil) bien provistos de bases, algunos salinos-alcalinos (PAPADAKIS 1980e).

Algunos índices climáticos de lavado, alteración, rubefacción y ferruginación, podsolización (PAPADAKIS 1980e) son útiles para entender mejor la distribución de los suelos; pero a condición naturalmente de no olvidar la interacción de los factores.

Se habla mucho de la *evolución* de los suelos. Cualquier sistema dinámico complejo cambia con el tiempo; además el suelo no es un sistema cerrado. Pero la evolución de los suelos no tiene nada que ver con la evolución de los seres vivientes, los cuales se formaron uno de otro según un árbol genealógico. Los suelos provienen uno del otro de la misma manera que los compuestos químicos (vease también párrafo 8).

## 7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Los pedólogos quieren imitar los zoólogos y botánicos, y tratan de aplicar a los suelos *clasificaciones dendríticas* (dicotómicas) con ordenes, subordenes, gran grupos, subgrupos, familias, series, etc. Pero entre los seres vivientes de un lado y los suelos del otro hay una diferencia fundamental. Los seres vivientes tienen una substancia hereditaria, que los padres transmiten a sus hijos, y que fija su morfología y manera de responder al ambiente; en seres vivientes el taxum es una realidad, que el naturalista no hace sino descubrir. Las hibridaciones entre especies son difíciles, muchas veces imposibles, y por consiguiente hay *ruptura de continuidad* entre especies vecinas; por lo tanto los límites entre especies son nítidos. Las especies se produjeron una de otra por evolución natural, y el árbol de la clasificación no es sino una reproducción del *árbol genealógico* de la evolución.

Nada semejante existe en suelos. No hay substancia hereditaria, que fija las propiedades y determina sus posibilidades de evolución. *Los suelos forman un continuum*; no hay interrupción de continuidad entre taxa vecinos. Los taxa de suelos no han sido producidos uno de otro por evolución natural; *no hay árbol filogenético*. Bajo estas condiciones la taxa no pueden ser sino *conceptos más o menos arbitrarios*, y sus límites son también arbitrarios. Puede haber un número ilimitado de clasificaciones diferentes. Aplicar clasificaciones dicotómicas a los suelos es un esfuerzo vano, que consume inutilmente los esfuerzos de los pedólogos y los conduce a discusiones bizantinas, si un suelo pertenece a tal o tal taxum, si un taxum es un orden, suborden, gran grupo, etc.,

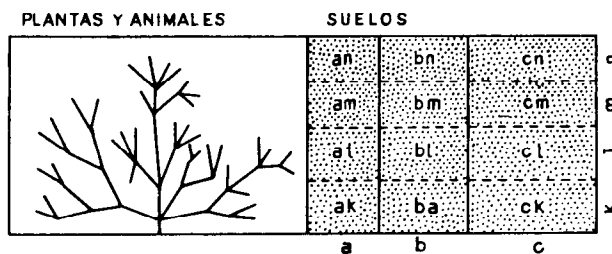


Fig. 1. — Las plantas y los animales resultan uno de otro por evolución natural; por lo tanto forman un árbol genealógico, y las diferencias entre ellos se indican por una clasificación dendrítica (semejante a árbol). Pero los suelos forman un continuum; los grupos a, b, c, que se forman dividiéndolos según un criterio se entrecruzan con los grupos k, l, m, n, que se forman dividiéndolos según otro criterio; un grupo de bajo orden (b) puede pertenecer en mismo tiempo a dos grupos superiores (b y l). Las clasificaciones dendríticas son artificiales y arbitrarias; y forzar los suelos en semejantes clasificaciones es imposible. Obliga a fabricar definiciones largas con muchas excepciones, que no convencen a nadie; puede haber tantas clasificaciones como autores aun varias por autor; y conducen a discusiones bizantinas. Los pedólogos debemos seguir el ejemplo de los químicos, mineralogistas, etc., que no tienen clasificaciones dendríticas rígidas, sino una terminología precisa (PAPADAKIS. 1976, 1980d)

en vez de ocuparse del suelo, su formación, distribución geográfica, etc.

*Del punto de vista clasificación, los suelos se asemejan a los cuerpos químicos, a los minerales, etc.* La clasificación no puede ser sino *multi-dimensional* (PAPADAKIS 1976). La substancia química, o mineral, pertenece al grupo a por uno de sus caracteres, al grupo k por un segundo, y así sigue para los otros caracteres (vease fig. 1). Un taxum inferior puede pertenecer a varios taxa superiores; *las clasificaciones según diferentes criterios se cruzan*. Y la clasificación no es sino una *descripción sumaria* de la composición del cuerpo químico, mineral o suelo; se puede aún abreviar en una *fórmula*.

El hecho que la clasificación de los suelos debe ser multidimensional se ve también por la taxonomía americana. Después de tanteos los Americanos llegaron a componer el nombre de un suelo de diferentes «*elementos formativos*», cada uno de los cuales denota un carácter; *typic gyypsiorthox clayey oxic isohyperthermic; typic hydrandepthixotropic isothermic, etc.* Pero como la taxonomía americana es dendrítica, y se ha injertado sobre ella, al fin, una nomenclatura descriptiva, esta nomenclatura no puede corregir los defectos de la clasificación; además no es cuantitativa.

El autor de este trabajo (PAPADAKIS 1976, 1980e) ha propuesto una clasificación multi-dimensional, mejor dicho una *terminología cuantitativa*. Los suelos

se distinguen en *óxicos*, *ilíticos*, *ándicos*, según la relación ajustada capacidad de intercambio/contenido en arcilla; en *mólicos*, *úmbricos*, *ácidos*, *eutróficos*, *distróficos*, según la saturación con bases de todo el perfil o los horizontes superiores; en *arenas*, *limos*, *arcillas*, según su textura; se indica la *profundidad del horizonte húmico*; la *suma de bases (S)* de algunos horizontes; la *saturación con aluminio* de ciertos horizontes; la presencia de ciertos horizontes, *argílico*, *cálcico*, *nátrico*, *sálico*, *rhódico*, *lítico*, *áquico*, *gley*, *pseudogley*, *spódico*, etc.; la profundidad a la cual empieza cada uno de estos horizontes, y a veces algún otra característica numérica, etc. A pesar de dar todos estos detalles, la nomenclatura consta, en general, de 3-4 palabras, que se puede reemplazar por abreviaciones, y 2-5 cifras; no es necesario mencionar horizontes diagnósticos, que el suelo no tiene, y cada característica excluye muchas otras. *Se clasificaron así algunos millares de suelos de América Latina, Portugal y clasificación americana* (PAPADAKIS 1980e).

Se discutió mucho la cuestión, si la clasificación debe ser *natural y genética*, u *artificial y morfológica*; es el conflicto secular entre realismo y nominalismo (CHATELIN 1979). A mi juicio este conflicto se debe a abuso de especulación de un lado; y abuso de empirismo del otro; y se debe evitar ambas exageraciones. Si por clasificación genética entendemos descubrir el árbol filogenético de los suelos, como hicieron los zoólogos y botánicos, esto es imposible, porque este árbol no existe. Pero si por clasificación natural entendemos una terminología cuantitativa, que muestra bien los caracteres fundamentales de cada suelo, las similitudes existentes entre diferentes suelos, como la nomenclatura química y mineralógica, entonces no hay duda que la clasificación debe ser natural. Pero semejante clasificación es también morfológica. *No hay incompatibilidad entre clasificación natural y morfológica*. Los zoólogos y botánicos clasificaron los animales y plantas según su morfología; y llegaron casi al árbol filogenético.

La introducción de la *micropedología* ha sido un gran progreso. Pero no se conectó todavía suficientemente con el estudio del perfil y de la formación del suelo; la especialización dificulta la tarea.

Se quiso basar toda la clasificación sobre el estudio del perfil en el campo, sin consultar los *análisis*, etc., del laboratorio. Es como si los médicos decidían prescindir de los análisis bioquímicos, etc. La *relación ajustada capacidad de intercambio/contenido de arcilla*, y la *suma de bases (S)* son características muy importantes del suelo; pero solamente ahora se empieza utilizarlos en la clasificación (PAPADAKIS 1964).

## 8. TIPOS DE CAMPO

Si la clasificación pedológica metía en evidencia los rasgos característicos de los suelos, no habría necesidad de clasificaciones de uso. Las características más importantes del punto de vista pedológico determinan también las características agronómicas. Pero como la clasificación pedológica no pone en evidencia los caracteres fundamentales del suelo, se necesita después reclasificar el suelo del punto de vista uso.

Esta clasificación ha sido preparada en Estados Unidos con el objetivo de facilitar la aplicación de la ley de conservación de los suelos (subsidios para no cultivar los suelos expuestos a erosión). Pero se la aplica, casi sin modificación, en todo el mundo, *bajo condiciones ecológicas y económicas muy diferentes*. Y los resultados no podían ser satisfactorios.

Pero los agricultores han ya clasificado los suelos de su aldea, según los cultivos, que se puede sembrar, la fecha de siembra, los rendimientos que se puede esperar, la probabilidad de heladas tardías, inundaciones, sequía, etc., la calidad de vino o tabaco producido, etc. Se debería aprovechar esta experiencia popular, buscar las causas pedológicas y climáticas de los hechos observados por los agricultores, y establecer los «*tipos de campo*», que existen en cada región, y su relación con la clasificación pedológica y climática (PAPADAKIS 1964, 1969, 1980a). Estos tipos de campo son unidades más bien ecológicas que pedológicas; y la experiencia campesina ayuda también a cartografiarlos. Desgraciadamente muy poco se hace en este sentido. Los especialistas desdeñan la experiencia popular. Y se prepara clasificaciones de uso, que sirven poco.

## 9. METODOS ESTADISTICOS, ANALISIS DE SISTEMAS, COMPUTADORAS, MATEMATICAS

Como se dijo en parrafo 2, el tratamiento estadístico, análisis de sistemas, etc., son simplemente una ordenación de los datos; facilitan la interpretación, pero no la reemplazan; son como un *instrumento perfeccionado*, p.ej. el microscopio; sin microscopio no podríamos tener la microbiología; pero no es el microscopio que hizo esta ciencia; la hizo la capacidad de interpretación del intelecto humano, ayudada por el microscopio, etc.

Los métodos estadísticos, análisis de sistemas, computadoras, matemáticas son muy útiles en investigación científica; pero *a menudo se los emplea mal*; vamos a traer algunos ejemplos.

El error es muy elevado en experiencias agronómicas; la mayor parte de las diferencias halladas

no son significativas. Esto se debe principalmente a la heterogeneidad del suelo. Los experimentadores han observado, y experiencias *ad hoc* han confirmado, que la heterogeneidad entre dos puntos aumenta con la distancia entre ellos. Este hecho condujo los experimentadores a usar parcelas *testigos*; un tratamiento se repite en la mitad, o la tercera parte, de las parcelas; y el rendimiento de las otras parcelas se corrige, basándose sobre el rendimiento del testigo adyacente; además se repite varias veces cada tratamiento, y se calcula el promedio de los rendimientos corregidos de todas las repeticiones; las parcelas son largas y estrechas, para aumentar la correlación entre parcelas adyacentes.

Este método ha sido perfeccionado por PAPADAKIS (1937b); como todos los tratamientos se repiten, pueden servir como testigos; el número total de parcelas se reduce así, y se puede aumentar el número de repeticiones; no es necesario, que el número de repeticiones sea igual para todos los tratamientos; puede variar según su importancia y la semilla disponible, lo que es importante en la práctica; se debe distribuir bien cada tratamiento en todo el campo, pero no hay reglas rígidas; este método reduce el error experimental, y este error se estima de manera satisfactoria (PAPADAKIS 1940). Desgraciadamente los que introdujeron la estadística en experimentación agronómica eran excelentes matemáticos, pero conocían poco en experimentación agronómica. *Se interesaban mucho a la estimación exacta del error; y nada para su disminución.* En vez de comparar el rendimiento de cada parcela con las parcelas adyacentes, se lo compara con el del bloque entero, o una línea, o una fila; no se corrige los rendimientos; y esto aumenta el error; la ventaja de las parcelas largas y estrechas se aprovecha poco; el número de parcelas debe ser igual para todos los tratamientos, lo que es un inconveniente para la práctica fitotécnica.

En agronomía es a menudo preferible ensayar un tratamiento en varios lugares, diferentes del punto de vista ecológico, que ensayar en un solo lugar con muchas repeticiones. Los estadísticos rechazaban al principio este método de trabajo, porque no podían calcular el error. Vieron después, que se puede tratar todos los ensayos como un solo experimento, y calcular un error. Pero pusieron condiciones, que complican enormemente la ejecución del ensayo. Además la *determinación del error reemplazó la discusión ecológica* de los resultados (influencia de los diferentes factores ecológicos sobre el rendimiento relativo de los tratamientos), *objetivo principal de la experimentación.*

Si una sola experiencia debía resolver un problema, como en algunas experiencias de laboratorio, la determinación del error probable sería importante,

y solamente un resultado muy significativo tendría valor. Pero este caso es excepcional. En general la conclusión que se saca de una experiencia no se basa solamente sobre su resultado, toma en consideración también todo lo que sabemos al respecto; la planificación misma de la experiencia debe basarse sobre todo lo que sabemos en la materia. Por lo tanto *la planificación e interpretación no puede ser dejada a un estadístico, que sabe poco o nada sobre la cuestión investigada*; deben ser hechas por el científico que tiene el problema, quién debe tener conocimientos de estadística. Pero se hace lo contrario. Se interesan más al significado estadístico del resultado, que a su real significativo (que tratamiento dió mejores resultados, cual ha sido la ventaja, y como varía esta ventaja, según las condiciones ecológicas). En la mayoría de los casos el resultado no es significativo, y se archiva el experimento; si es significativo se lo publica, *lavándose los manos para su aplicabilidad*; la conclusión habitual, y estereotipada, es que se debe continuar la experiencia.

El análisis de sistemas, y las computadoras, han dado excelentes resultados en bancos, el comercio, la industria, la guerra, etc. Todas estas actividades han sido creadas por el hombre, y sabemos perfectamente como funcionan. Pero en ciencia del suelo, ecología, agronomía, etc., tenemos conocimiento limitado del funcionamiento del sistema investigado. El matemático que hace el análisis no sabe nada. Bajo estas condiciones es poco lo que se puede esperar del análisis. Se quiso estudiar los ecosistemas, y los resultados han sido pobres.

*Para estudiar un sistema, las experiencias debieran ser planificadas e interpretadas por un investigador con gran capacidad de interpretación, y que tiene conocimientos tan sólidos que posible sobre el sistema investigado*; este investigador debe también tener conocimientos en análisis de sistemas; y debe ser ayudado por un matemático, que también entiende el sistema estudiado; y debe haber una comunicación continua en ambas direcciones; *no se debe aplicar programas rígidos, sino adaptar continuamente el programa a las necesidades de interpretación «por trial and error».*

Las matemáticas son muy útiles en todas las ciencias. Pero cuando se estudia sistemas complejos, el investigador está a menudo obligado, para aplicarlas, hacer muchas concesiones; se simplifica las cosas; y se recurre a sucedaneos. Finalmente lo que uno analiza tiene poco que ver con el sistema estudiado. Para ilustrar este peligro, voy a contar un anécdoto turco (PAPADAKIS 1970). Un bajá (gobernador) del interior de Asia Menor viajó, el siglo pasado, a Constantinopla; y lo agasajó el embajador inglés, ofreciéndole un té inglés. Después

de algún tiempo, el embajador viajaba en Asia Menor, y avisó al bajá, que va a visitarlo la tarde. Entonces el bajá llamó su cocinero y le dió el orden de preparar un buen té ingles. « Pero no tenemos té » dice el cocinero. « Usan una hierba de Asia Menor » contesta el bajá. « Y no tenemos azucar » dice el cocinero. « Pongan petimezi » contesta el bajá. « Y no tenemos limon » dice el cocinero. « Pongan vinagre » contesta el bajá. Muchas veces las ecuaciones, modelos, simulación, etc., se asemejan al sistema estudiado, como el té ofrecido por el bajá se asemejaba a un buen té ingles. Pero el embajador tragó el té del baja ; y los científicos tragan a menudo estas extravagancias. Uno debe ser prudente.

*Las ecuaciones, etc., son, en general, esquemáticas ; sirven para ilustrar las relaciones ; pero no para resolver casos concretos.* Hace 40 años JENNY (1941) a formulado la ecuación de formación de los suelos. Pero hasta ahora no ha sido posible utilizarla (YAALON 1975).

*La opinión que las computadoras funcionan como el cerebro humano es errónea.* Como se dijo en parrafo 2, la característica del hombre, que lo distingue de los animales, es que trata entender el porque y como de los hechos, y teoriza sobre sus causas y mecanismos. La computadora trabaja determinando correlaciones, como el cerebro animal. Por lo tanto se pudo construir computadoras, que imitan bastante bien el comportamiento animal.

Las matemáticas son más precisas que el lenguaje, pero son menos elasticas ; y a veces el lenguaje describe mejor la realidad.

## CONCLUSIONES

No hemos mencionado sino algunos errores en ciencia del suelo, ecología, y agronomía ; hay muchos otros. Se dice, que la ciencia económica no consigue jamás lo que espera ; y no prevé jamás lo que ocurre.

El freudismo no tiene base científica, aunque algunas observaciones y psicoterapias tienen base empírica. Es evidente, que nos encontramos en un periodo de decadencia científica. Que se puede hacer en estas condiciones?

La primera cosa que hacer es reconocer que estamos en periodo de decadencia. Examinar con espíritu crítico todas las teorías, aún las generalmente aceptadas ; y *no hesitar a rechazarlas, si no se basan sobre los hechos*. Leer con espíritu crítico los trabajos que se publican, y *no hesitar a sacar conclusiones diferentes de las del aulor*, si los hechos lo justifican. *No aceptar ciegamente las opiniones del «establishment» científico*. Seguir el ejemplo de ARISTÓTELES, que era discipulo de PLATÓN, pero ha rechazado muchas de sus teorías diciendo « *philos men moi Platon, phillale de moi aletheia* » (*amo Platon, pero amo más la verdad*).

Hemos dicho, que la ciencia es antes que todo interpretación, y por lo tanto especulación. Pero no debemos abusar de la especulación ; *la interpretación debe basarse sobre los hechos, y ser verificada por los hechos*. Del otro lado *no debemos llegar a un empirismo exagerado, que es negación de la ciencia*. Las matemáticas, el método estadístico, el análisis de sistemas, la simulación, las computadoras son muy útiles, a menudo imprescindibles ; pero no debemos olvidar, que son *solamente instrumentos*, que ordenando los datos permiten ver más claro ; facilitan la interpretación, pero no la reemplazan. Todo esto parece contradictorio, pero no lo es. No olvidamos el precepto, tantas veces repetido por ARISTÓTELES « *metron panti pragmati* » (*no exagerar en ninguna dirección*). Casi todas las diferencias entre escuelas de filosofía de la ciencia, se deben a que casi todas exageran en un sentido u otro.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.  
le 11 septembre 1981.*

## BIBLIOGRAFIA

- AUBERT (G.) et DUCHAUFOR (Ph.), 1956. — Projet de Classification des Sols. Congr. Intern. Sci. Sol 6, vol. E : 597-604.
- BELL (D. T.) et KOEPPE (O. E.), 1972. — On Competitive Effects of Giant Foxtail on the Growth of Corn. *Agron. J.*, 64 : 321-325.
- BERNARD (Cl.), 1966. — Introduction à l'étude de la Médecine Expérimentale. Garnier-Flammarion, 318 p.
- BERTALANFY (L. von), 1976. — Théorie Générale des Systèmes. Dunod, 296 p.
- BODE (H. W.), 1967. — The System Approach. — In: Applied Science and Technological Progress. National Academy of Science.
- BOERGER (A.), 1946. — Consejos Metodológicos. Buenos Aires.
- CHATELIN (Y.), 1979. — Une Épistémologie des Sciences du Sol. *Mémoires, O.R.S.T.O.M.*, n° 88, Paris, 151 p.
- DEWEY (J.), 1938. — The Theory of Inquiry.
- DIJKERMAN (J. C.), 1974. — Pedology as a Science; the Role of Data, Models and Theories in the Study of Natural Systems. *Geoderma*, 11 (2) : 73-93.
- DORMAAR (J. F.), 1972. — Seasonal Pattern of Soil Organic Phosphorus. *Can. J. Soil Science*, 52 : 107-112.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1970. — Précis de Pédologie. Masson, 3ed., 481 p.
- FASOULAS (A.), 1980. — Principles and Methods of Plant Breeding. Dept. Gen. Pl. Breed. Arist. Univ. *Thessaloniki Pub*, n° 10, 117 p.
- FISHER (R. A.), 1925. — Statistical Methods for Research Workers. Edinburg.
- JENNY (H.), 1941. — Factors of Soil Formation. Mc-Graw-Hill, 281 p.
- KLINE (J. R.), 1973. — Mathematical Simulation of Soil Plant Relationships and Soil Genesis. *Soil Sci.*, 115 : 240-249.
- NYE (P. H.), 1954-55. — Some Soil Forming Processes in the Humid Tropics. *J. Soil Sci.*, 5, 1 : 7-62 et 6, 1 : 63-83.
- PAPADAKIS (J.), 1935a. — Varieties Experiments in Pots. *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 20, 16 p.
- PAPADAKIS (J.), 1935b. — The Pocket Method of Varieties Experiments. *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 21, 8 p.
- PAPADAKIS (J.), 1937a. — Expériences sur le But des Labours et des Binages. *Ann. Gembloux* (Belg.), 43 : 349-359.
- PAPADAKIS (J.), 1937b. — Méthode Statistique pour des Expériences sur Champ. *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 23, 30 p.
- PAPADAKIS (J.), 1937c. — Est-ce Seulement d'après le Rendement en grain que se fait la Sélection Naturelle chez les Plantes Cultivées ? *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 26.
- PAPADAKIS (J.), 1937d. — Expériences et Perfectionnements à la Méthode des Pocquets pour Essais de Variétés. *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 27 : 32.
- PAPADAKIS (J.), TALLELIS (D. E.), 1937e. — Expériences sur la Fertilisation Azotée du Blé et la Différenciation des Variétés par rapport à l'azote. *Thessaloniki Pl. Breed. Inst. Sci. Bull.*, n° 30.
- PAPADAKIS (J.), 1938. — Écologie Agricole. Bibl. Agron. Belge. Duculot Gembloux.
- PAPADAKIS (J.), 1940. — Comparaison de Différentes Méthodes d'Expérimentation Phytotechnique. *Rev. Arg. Agron.*, 7 : 297-362.
- PAPADAKIS (J.), 1941. — An Important Effect of Soil Colloids on Plant Growth. *Soil Sci.*, 52 : 283-290.
- PAPADAKIS (J.), 1949. — El Espacio (volumen de tierra fina) como Factor de Crecimiento de las Plantas. *Lilloa*, XXVIII : 215-224.
- PAPADAKIS (J.), 1954. — Écología de los Cultivos. Buenos Aires, 2 vol., 222 et 463 p.
- PAPADAKIS (J.), 1964. — Soils of the World. Buenos Aires, 141 p.
- PAPADAKIS (J.), 1969. — Soils of the World. Elsevier, Amsterdam, 208 p.
- PAPADAKIS (J.), 1970. — Fundamentals of Agronomy. Buenos Aires, 74 p.
- PAPADAKIS (J.), 1971. — Pre-test in Nitrogen Fertilization; Seed, Tuber or Root Coating with Phosphorus and Intercalary Legumes as Means of Economizing Fertilizers and Generalizing their Use. Buenos Aires, 8 p.
- PAPADAKIS (J.), 1972. — Auxins, Biochemical Plant Interaction, Growth Retardants and Dense High yielding Crops. Buenos Aires, 32 p.

- PAPADAKIS (J.), 1975. — The World Food Problem ; Another Low Cost Technology is Needed ; The Failure of Conventional Agronomy. Buenos Aires, 31 p.
- PAPADAKIS (J.), 1976. — Soil Taxonomy Can and Should be Simplified ; From a Rigid Taxonomy to a Precise Terminology. Buenos Aires, 8 p.
- PAPADAKIS (J.), 1977a. — The Mechanism of Plant Competition. Buenos Aires, 28 p.
- PAPADAKIS (J.), 1977b. — From an Ecological and Psychological Point of View there is an Abyss between Man and All Other Species ; The Three Steps in the Evolution of Living Beings ; Cultural versus Genetic Evolution. Buenos Aires, 3 p.
- PAPADAKIS (J.), 1978a. — Root Toxins and Crop Growth ; Allelopathy. In Gupta Crop Physiology, New Dehli : 202-237.
- PAPADAKIS (J.), 1978b. — Some Considerations on Culture and Science ; The Scientific Decadence of Our Days. Buenos Aires, 9 p.
- PAPADAKIS (J.), 1978c. — Research Deficiencies in Agronomy, Plant and Soil Sciences. Research for the World Food Problem. Buenos Aires, 12 p.
- PAPADAKIS (J.), 1979. — Climates and Soils of Grassland Areas in Africa. In Makoto Numata Ecology of Grasslands and Bamboolands in the World. Gustav Fisher, Jena, 57-68 p.
- PAPADAKIS (J.), 1980a. — Is Time Relative ? Slightly Amended Classical Mechanics Fit All Known Facts. Buenos Aires, 16 p.
- PAPADAKIS (J.), 1980b. — Des-heroization ; A Danger for Our Society ; Its Causes and Outlook. Buenos Aires, 4 p.
- PAPADAKIS (J.), 1980c. — Ecología y Manejo de Cultivos, Pasturas y Suelos. Albatros, Buenos Aires, 304 p.
- PAPADAKIS (J.), 1980d. — El Suelo. Albatros Buenos Aires, 347 p.
- PICKERING (S.), BEDFORD (duke of). — Reports of the Woburn Exp. Fruit Farm : 3rd (1903), 13th (1911), 14th (1914).
- PIAGET (J.), 1967. — Logique et Connaissance Scientifique. Gallimard, La Pleiade, 1345 p.
- POINCARÉ (H.), 1903. — Science et Hypothèse.
- RICHARDSON (A. E.), 1931. — Effects of Nitrogen Fertilizers on the Growth and Yield of Wheat and Barley. *J. Dep. Agr. South Australia*, 35 1.
- RUSSELL (B.), 1971. — La Méthode Scientifique en Philosophie. Payot, 250 p.
- SIMONSON (R. W.), 1968. — Concept of Soil. *Adv. Agron.*, 20 : 1-44.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. — Soil Taxonomy. Washington 754 p.
- YAALON (D. H.), 1975. — Conceptual Models in Pedogenesis ; Can Soil-forming Functions be Solved ? *Geoderma*, 14, 3 : 189-201.
- YANKOVITCH (L.), 1933. — Le Problème de l'Azote dans les Terres Nord-Africaines. *Ann. Serv. Bot. Tun.*, 10.